

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 100 59 815 A 1

⑯ Aktenzeichen: 100 59 815.3  
⑯ Anmeldetag: 1. 12. 2000  
⑯ Offenlegungstag: 13. 6. 2002

⑯ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 D 21/00**  
G 01 F 23/284  
G 01 F 23/296  
G 01 R 1/06  
H 04 B 3/02  
H 04 B 3/54  
G 05 F 1/46  
G 08 C 19/00

DE 100 59 815 A 1

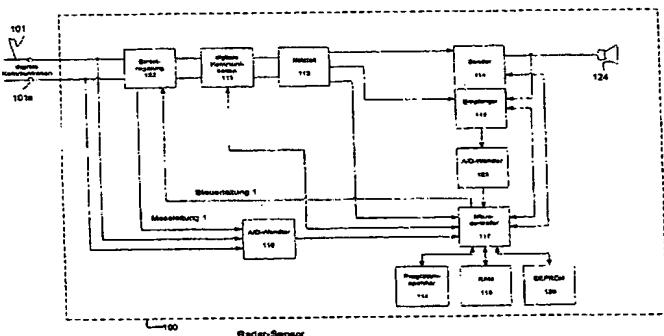
⑯ Anmelder:  
VEGA Grieshaber KG, 77709 Wolfach, DE  
⑯ Vertreter:  
Maiwald Patentanwalts-GmbH, 80335 München

⑯ Erfinder:  
Rauer, Winfried, 77716 Fischerbach, DE; Ruf, Christian, 77656 Offenburg, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑯ Elektronische Messvorrichtung zur Erfassung einer Prozessvariablen, insbesondere Radar- oder Ultraschall-Füllstandsmessvorrichtung und Verfahren zum Betreiben einer solchen Messvorrichtung

⑯ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine elektronische Messvorrichtung zur Erfassung einer Prozessvariablen, die an eine Zweidrahtleitung (101) zur Bereitstellung der Versorgungsenergie und zur digitalen Kommunikation mit einem Prozessleitsystem anschließbar ist, und ein Verfahren zum Betreiben einer solchen Messvorrichtung. Eine erfindungsgemäße Messvorrichtung besitzt eine Sensoreinrichtung (114, 115, 123, 124; 314, 315, 323, 324) zum Messen der Prozessvariablen, eine Steuerungseinrichtung (117; 317) zur Steuerung von Bauelementen der Messvorrichtung, eine Spannungsmesseinrichtung (116; 316) zum Messen der über die Zweidrahtleitung (101) anliegenden Versorgungsspannung und eine Stromregeleinheit (122; 322), mit der der Strom zur Versorgung der Messeinrichtung in Abhängigkeit von der durch die Spannungsmesseinrichtung (9; 316) gemessenen Versorgungsspannung zeitlich zweckmäßig veränderbar ist.



## Beschreibung

## Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine elektronische Messvorrichtung zur Erfassung einer Prozessvariablen, die an eine Zweidrahtleitung anschließbar ist, wofür insbesondere ein Zweidrahtanschluss vorhanden ist. Über die Zweidrahtleitung erfolgt eine Bereitstellung der Versorgungsenergie und die digitale Kommunikation mit einem Prozessleitsystem. Derartige Messvorrichtungen weisen üblicherweise eine Sensoreinrichtung zum Messen der Prozessvariablen und eine Steuerungseinrichtung zur Steuerung von Bauelementen der Sensoreinrichtung auf. Es ist anzumerken, dass hier unter den Begriff Sensoreinrichtung im weitesten Sinne alle bei der Erzeugung und Verarbeitung von Signalen beteiligten Bauelemente und alle zugehörigen Peripherieeinrichtungen zu subsumieren sind.

## Stand der Technik

[0002] Derartige ausschließlich über eine Zweidrahtleitung angeschlossene elektronische Messvorrichtungen sind im Stand der Technik allgemein bekannt und kommen beispielsweise als Radar- oder Ultraschall-Füllstandsmessgerät zur Anwendung. Ein Ultraschall-Füllstandsmessgerät sendet mittels einer Sensoreinrichtung in Form eines Ultraschallsensors Schallwellen in Richtung einer in einem Behälter befindlichen Füllgutoberfläche aus. Nach Empfang des von der Füllgutoberfläche reflektierten Signalanteils ist über eine Auswertung der Signallaufzeit der Füllstand im Behälter erreichbar. Eine Steuerungseinrichtung innerhalb der Messvorrichtung koordiniert dabei das Zusammenwirken aller hieran beteiligter Schaltungsteile bzw. Messvorrichtungs-Bauelemente. In einem Radar-Füllstandsmessgerät werden anstatt Ultraschallwellen-Radarimpulse erzeugt und ausgesendet.

[0003] Bei der Messvorrichtung der genannten Art liefert eine Zweidrahtleitung, die üblicherweise auf der Hierarchieebene der Feldbusssysteme zum Einsatz kommt, zum einen die zum Betrieb der Messeinrichtung erforderliche Versorgungsenergie und dient daneben auch der digitalen Kommunikation mit einem übergeordneten Prozessleitsystem, welches zur Weiterverarbeitung der von der Messvorrichtung gelieferten Messergebnisse dient.

[0004] In der Praxis hat sich gezeigt, dass bei der Anbindung über eine Zweidrahtleitung die Leistungsaufnahme der Messvorrichtung – sofern nicht besondere Maßnahmen getroffen werden – sehr stark schwankt. Einerseits ist während Zeitintervallen einer Messungsvorbereitung oder Durchführung die Leistungsaufnahme konstant, andererseits wird während der übrigen Zeit der Zweidrahtleitung durch die Messvorrichtung weniger Leistung entnommen, wodurch die Leistungsaufnahme und infolgedessen die Stromaufnahme sehr stark absinkt. Diese Stromschwankungen können die über die gleiche Zweidrahtleitung laufende digitale Kommunikation stören. Insbesondere schnell, d. h. in einer kurzen Zeitspanne erfolgende Stromschwankungen haben sich als störend erwiesen.

[0005] Zur Gewährleistung einer trotz der Doppelfunktion der Zweidrahtleitung ungestörten Kommunikation zwischen der Messvorrichtung und dem Prozessleitsystem ist es also notwendig, die Stromaufnahme der Messvorrichtung in gewissen Grenzen konstant zu halten und insbesondere schnelle Stromschwankungen zu unterbinden. In Zeitintervallen eines hohen Leistungsbedarfs, der beispielsweise während der Durchführung eines Messzyklus auftritt, wird die Messvorrichtung bei einer niedrigen Versorgungsspan-

nung zur Energiedeckung einen hohen Strom erfordern, da sich die Leistung bekanntermaßen als Produkt von Spannung und Strom ergibt. Wird nun der Strom über den gesamten Versorgungsspannungsbereich konstant gehalten, um die digitale Kommunikation durch die Energieversorgung nicht zu beeinträchtigen, so führt diese Maßnahme bei hohen Versorgungsspannungen aber zu einer Vervielfachung der Leistungsaufnahme, was einen unnötigen Energieverbrauch und eine starke Wärmeentwicklung nach sich zieht.

[0006] Aus diesem Grunde wurden Messvorrichtungen der vorstehend beschriebenen Art bisher eher in Mehrleiter-technik ausgeführt. Bei dieser im Stand der Technik ebenfalls allgemein bekannten Alternative ist ein Leitungspaar für die Zuführung der Versorgungsenergie vorgesehen, wogegen ein zweites, getrenntes Leitungspaar zur digitalen Kommunikation dient. In dem zweiten Leitungspaar kann der für die zuverlässige digitale Kommunikation zwischen der Messeinrichtung und dem Prozessleitsystem erforderliche geringe konstante Strom fließen, ohne dass eine Beeinträchtigung der Kommunikation durch die Energieversorgung möglich ist. Jedoch führt diese Lösung zu einem nachteiligen Mehraufwand an Verdrahtung für die Messvorrichtung.

## Darstellung der Erfindung

[0007] Es ist daher das der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende technische Problem, eine elektronische Messvorrichtung in Zweileiter-technik dahingehend weiter zu verbessern, dass eine zuverlässige digitale Kommunikation bei minimaler Leistungsaufnahme möglich ist. Ferner liegt der Erfindung das weitere technische Problem zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben einer elektronischen Messvorrichtung in Zweileiter-technik bereit zu stellen, das eine zuverlässige digitale Kommunikation ermöglicht.

[0008] Diese technischen Probleme werden durch eine elektronische Messvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 oder 4 bzw. durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 13 oder 15 gelöst.

[0009] Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, erstmals den Strom für die Messvorrichtung in Abhängigkeit von der gemessenen Eingangsspannung so zu regeln, dass unerwünschte, also in einer kurzen Zeitspanne auftretende Stromänderungen unterbunden werden und eine Stromanpassung in einer für die Kommunikation unschädlichen Zeitspanne erfolgt. Die Kommunikation störende Stromschwankungen sind beispielsweise dann gegeben, wenn sie größer als 1 mA/ms sind. Der Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung liegt darin, dass die Kommunikation störende Stromschwankungen schnell ausgeregelt werden können.

[0010] So wird bei einer schnellen Leistungsbedarfsänderung der Messvorrichtung (beispielsweise ein Wechsel von einem Sendebetrieb in einen Auswertungsbetrieb und umgekehrt) der durch den Zweileitungsanschluss fließende Strom konstant gehalten und dieser Gesamtstrom in einen Nutz- und einen Verluststrom aufgeteilt. Der Nutzstrom ist hier der durch die für einen einwandfreien Messvorrichtungsbetrieb notwendigen Bauelemente der Messvorrichtung genutzte Stromanteil und der Verluststrom ist der für einen einwandfreien Betrieb der Messvorrichtung nicht notwendige Stromanteil.

[0011] Stellt man beispielsweise fest, dass die Verlustleistung zu hoch ist – also der Verluststrom zu hoch ist –, so kann man den sich aus Nutz- und Verluststrom zusammensetzende Gesamtstrom entsprechend reduzieren, und zwar so langsam, dass es zu keiner die Kommunikation störenden Stromschwankungen kommt.

[0012] Hierdurch sind also zum einen kurzfristig auftretende Stromschwankungen so ausregelbar, dass im wesent-

lichen keine Störungen in der Kommunikation feststellbar sind bzw. sich in akzeptablen Grenzen halten, zum anderen ist der Gesamtleistungsbedarf der Messvorrichtung an den momentanen Betriebszustand in geeigneten Zeitspannen anpassbar.

[0011] Die Messeinrichtung versucht die Verlustleistung, das ist der den Leistungsbedarf übersteigende Anteil der aufgenommenen Leistung, zu minimieren und somit die aufgenommene Leistung dem Leistungsbedarf anzupassen. Anhand einer Regelung in für die Kommunikation unschädlichen Zeitspannen kann stets die aufzunehmende Leistung so vorgegeben werden, dass betriebsbedingte Stromschwankungen innerhalb vertretbarer Grenzen gehalten werden können.

[0012] Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung umfasst eine Einrichtung zur Ermittlung einer momentanen Verlustleistung, die nicht zur Aufrechterhaltung des momentanen Betriebszustand der Messvorrichtung notwendig ist. Ist diese ermittelte Verlustleistung im Vergleich zu einem (abgespeicherten) Vergleichswert zu hoch, so kann über die Steuerungseinrichtung ein entsprechender neuer Sollwert an die Stromregeleinrichtung gesandt werden, wodurch der aufgenommene Strom allmählich, d. h. ohne die Kommunikation störende Stromschwankungen an der Zweidrahtleitung hervorzurufen, reduziert wird. Wenn die Messeinrichtung also erkennt, dass die aufgenommene Leistung zu hoch ist, weil zuviel Verlustleistung erzeugt wird, kann diese Leistungsbedarfsüberschreitung durch Reduzierung der Stromaufnahme soweit minimiert werden, dass im Idealfall die aufgenommene Leistung gerade noch ausreicht, um die Messzyklen bestimmungsgemäß durchzuführen. Wird in einem neuen Betriebszustand der Messvorrichtung mehr Nutzstrom benötigt, so wird entsprechend der Strom-Sollwert langsam erhöht.

[0013] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Einrichtung zur Ermittlung einer momentanen Verlustleistung mit einem Kondensator verbunden, um einen zeitlichen Verlauf der Spannung an dem Kondensator zu messen und damit indirekt festzustellen, ob Verlustleistung entsteht. Diese Ausbildung ist insbesondere bei einer Ultraschall-Füllstandsmessvorrichtung zweckmäßig, da dort der Verlauf der Spannung eines dem Ultraschallsender vorgesetzten Kondensators in Hinblick auf eine Verlustleistung aussagekräftig ist.

[0014] Als weitere Alternative zur Ermittlung einer momentanen Verlustleistung ist eine Einrichtung geeignet, mit der die Häufigkeit ermittelbar ist, mit der die Sensoreinrichtung angeregt wird, ohne eine Messung durchzuführen. Je öfter die Sensoreinrichtung angeregt wird, ohne eine Messung durchzuführen, umso höher ist die Verlustleistung, entsprechend kann der Strom (allmählich, im wesentlichen ohne die Kommunikation störende Stromschwankungen) reduziert werden. Falls die Messvorrichtung für ihre bestimmungsgemäße Aufgabe weniger Leistung benötigt, kann die Verlustleistung somit in effektiver Weise umgesetzt werden. Alternativ hierzu ist es auch möglich, die Verlustleistung in bekannter Weise in Wärme umzusetzen und nach außen abzuführen.

[0015] Es ist ebenfalls denkbar, dass die Verlustleistung über einen Stromfühlwiderstand innerhalb der Stromregeleinrichtung oder auf eine andere geeignete Weise festgestellt wird.

[0016] Die Messvorrichtung kann vorzugsweise mit einem A/D-Wandler ausgestattet sein. Über die anliegende Versorgungsspannung ist bei bekannter Stromaufnahme die aufgenommene Leistung berechenbar. Steigt die Versorgungsspannung, so wird der Strom derart abgesenkt, dass es nicht zu einer Leistungsbedarfsüberschreitung kommt. Sinkt

die Versorgungsspannung, wird der Strom erhöht, so dass der Betrieb der Messeinrichtung noch möglich ist.

[0017] Eine alternative Lösung sieht vor, dass die Verlustleistung in der Stromregeleinrichtung minimiert wird. Die entsprechende elektronische Messvorrichtung zur Erfassung einer Prozessvariablen, die an eine Zweidrahtleitung zur Bereitstellung der Versorgungsenergie und zur digitalen Kommunikation mit einem Prozesselektionsystem anschließbar ist, ist mit einer Sensoreinrichtung zum Messen der Prozessvariablen, einer Steuerungseinrichtung zur Steuerung von Baulementen der Sensoreinrichtung und einer Stromregeleinrichtung ausgestattet, mit der der von der Messvorrichtung über die Zweidrahtleitung gezogene Strom in Abhängigkeit von dem durch die Sensoreinrichtung gezogenen Strom zweckmäßig einstellbar ist. Durch die Einstellbarkeit des über die Zweidrahtleitung gezogenen Stroms kann eine möglichst konstante Stromaufnahme gewährleistet werden. Bei dieser Variante ist zur Erzielung einer Stromaufnahme ohne störende Schwankungen im Gegensatz zu der zuvor erläuterten Lösung keine Messung der Versorgungsspannung notwendig.

[0018] Hier sind vorzugsweise in der Stromregeleinrichtung zwei Regelungen vorhanden. Die eine Regelung sorgt dafür, dass der Gesamtstrom konstant bleibt. Die andere Regelung liefert einen Stromsollwert für die erstere Regelung und sorgt dafür, dass immer ein wenig Strom über einen Querzweig fließt. Diese verschachtelte Regelung sorgt somit dafür, dass der Gesamtstrom dem Sensorstrom angepasst wird, dabei aber sichergestellt wird, dass der Verluststrom im Querzweig minimal gehalten wird.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0019] Im folgenden sind zum besseren Verständnis und zur weiteren Erläuterung mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher beschrieben. Es zeigt:

[0020] Fig. 1 eine Blockschaltbilddarstellung einer erfindungsgemäßen Messeinrichtung gemäß eines ersten Ausführungsbeispiels,

[0021] Fig. 2 eine detaillierte Schaltungsanordnung der Stromregeleinrichtung im Ausführungsbeispiel nach Fig. 1,

[0022] Fig. 3 eine Blockschaltbilddarstellung einer erfindungsgemäßen Messeinrichtung gemäß eines zweiten Ausführungsbeispiels,

[0023] Fig. 4 eine detaillierte Schaltungsanordnung der Stromregeleinrichtung im Ausführungsbeispiel nach Fig. 3,

[0024] Fig. 5 eine detailliertere Schaltungsanordnung einer Ladestrombegrenzung im Ausführungsbeispiel nach Fig. 3,

[0025] Fig. 6 eine detaillierte Schaltungsanordnung der Stromregeleinheit im Ausführungsbeispiel nach Fig. 5,

[0026] Fig. 7 eine Blockschaltbilddarstellung einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung gemäß eines weiteren Ausführungsbeispiels der Erfindung, und

[0027] Fig. 8 eine detaillierte Schaltungsanordnung der Stromregeleinrichtung im Ausführungsbeispiel nach Fig. 7.

[0028] Fig. 9 eine Blockschaltbilddarstellung einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung gemäß eines weiteren Ausführungsbeispiels der Erfindung, und

[0029] Fig. 10 eine detaillierte Schaltungsanordnung der Stromregeleinrichtung im Ausführungsbeispiel nach Fig. 9.

#### Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung

[0030] Die elektronische Messeinrichtung 100 nach Fig. 1 dient zur Füllstandsmessung nach dem Radarprinzip. Die Messeinrichtung 100 weist einen Zweidrahtanschluss 101a

auf, der zum Anschluss an eine Zweidrahtleitung 101 und über diese an ein Feldbussystem bestimmt ist. Sowohl die Kommunikation als auch die Energieversorgung nutzen ausschließlich die Zweidrahtleitung 101. Eine Netzteileinheit 112 gewinnt dabei die notwendige Versorgungsspannung (U<sub>V</sub>) aus der dem Bussystem entnommenen Leistung. Als Steuerungseinrichtung ist ein Mikrokontroller 117 vorgesehen, der mit mehreren Speichereinheiten in Form eines Programmspeichers 118, eines RAM's 119 und eines EEPROM's 120 in Verbindung steht. Der Mikrokontroller 117 steuert eine Sendeeinrichtung 114 an. Über eine Antenne 124 werden Radarimpulse der Sendeeinrichtung 114 ausgesendet, die von einer (nicht weiter dargestellten) Füllgutoberfläche reflektiert, und in umgekehrte Richtung auch wieder aufgenommen werden und in elektrische Impulse umgewandelt werden. Die Zeit zwischen dem Senden des Radarimpulses bis zum Empfang des reflektierten Signals ist ein Maß für den Füllstand. Der Mikrokontroller 117 liest die empfangenen Signale von einer Empfangseinrichtung 115 über einen A/D-Wandler 123 ein und wertet diese aus. Mit einem über die Zweidrahtleitung 101 angeschlossenen (ebenfalls nicht weiter dargestellten) Prozessleitsystem kommuniziert der Mikrokontroller 117 über eine digitale Kommunikationseinheit 111, die insoweit die Schnittstelle nach außen darstellt.

[0031] Zur erfundungsgemäßen Steuerung der von der Messeinrichtung 100 aufgenommenen Leistung wird über den parallel zur Zweidrahtleitung 101 angeschlossenen A/D-Wandler 116 die Versorgungsspannung, d. h. die an der Zweidrahtleitung 101 anliegende Spannung, gemessen. Der Mikrokontroller 117 stellt über eine Stromregeleinrichtung 122 den Strom in Abhängigkeit von der Versorgungsspannung so ein, dass der aufgenommene Strom langsam entsprechend dem tatsächlichen Leistungsbedarf angepasst wird.

[0032] Gemäß der Detaildarstellung nach Fig. 2 bekommt die Stromregeleinrichtung 122 den Sollwert vom Mikrokontroller 117 über eine Steuerleitung 1 vorgegeben. Optional kann während der Anlaufphase der Sollwert von einer Referenzdiode abgeleitet werden. Die Stromregeleinrichtung 122 regelt die Stromaufnahme der Messvorrichtung 100 auf diesen vorgegebenen Sollwert aus. Hierfür wird über einen Stromfühlwiderstand R22 der Istwert ermittelt, wonach der Strom entsprechend der Differenz zum Sollwert eingestellt wird. Mit dieser Stromregeleinrichtung 122 ist eine Ausregelung schneller Stromschwankungen möglich. Damit die Messvorrichtung 100 ihre Leistungsaufnahme dem tatsächlichen Leistungsbedarf anpassen kann, muss ihre produzierte Verlustleistung ermittelt werden. Ein Maß für die Verlustleistung kann z. B. über den Spannungsabfall an dem Widerstand R23 ermittelt werden. Die Verlustleistung wird hier mit Hilfe des A/D Wandlers 116 gemessen. Bei zu hoher Verlustleistung wird der Mikrokontroller 117 den Sollwert für die Stromregeleinrichtung 122 reduzieren, um somit die Gesamtstromaufnahme der Messvorrichtung zurückzunehmen. Damit wird weniger Verlustleistung erzeugt und die Gesamtleistungsaufnahme dem Leistungsbedarf angepasst.

[0033] In der Fig. 3 ist eine andere Ausführungsform der Erfahrung gezeigt. Die elektronische Messeinrichtung 300 nach Fig. 3 dient zur Füllstandsmessung nach dem Ultraschallprinzip.

[0034] Die Messvorrichtung 300 weist wie zuvor einen Zweidrahtanschluss 101a auf, der zum Anschluss an eine Zweidrahtleitung 101 und über diesc an ein Feldbussystem bestimmt ist. Sowohl die Kommunikation als auch die Energieversorgung nutzen ausschließlich die Zweidrahtleitung 101. Eine Netzteileinrichtung 312 gewinnt dabei die not-

wendige Versorgungsspannung (U<sub>V</sub>) aus der dem Bussystem entnommenen Leistung. Als Steuerungseinrichtung ist ein Mikrokontroller 317 vorgesehen, der mit mehreren Speichereinheiten in Form eines Programmspeichers 318, eines 5 RAM's 319 und eines EEPROM's 320 in Verbindung steht. Der Mikrokontroller 317 steuert eine Ultraschallsendeeinrichtung 314 an, wenn die über einen A/D-Wandler 316 gemessene Sendespannung eine vorbestimmte Höhe erreicht hat. Über einen Schallwandler 324 werden Ultraschallimpulse der Sendeeinrichtung 314 ausgesendet, die von (einer nicht weiter dargestellten) Füllgutoberfläche reflektiert werden und in umgekehrte Richtung auch wieder aufgenommen werden und in elektrische Impulse umgewandelt werden. Die Zeit zwischen dem Senden des Schallimpulses bis zum 10 Empfang des reflektierten Signals ist ein Maß für den Füllstand. Der Mikrokontroller 317 liest die empfangenen Signale von einer Empfangseinrichtung 315 über einen A/D-Wandler 323 ein und wertet diesc aus. Mit einem über die Zweidrahtleitung 101 angeschlossenen (ebenfalls nicht weiter dargestellten) Prozessleitsystem kommuniziert der Mikrokontroller 317 über eine digitale Kommunikationseinheit 311, die insoweit die Schnittstelle nach außen darstellt. Der Ultraschallsendeeinrichtung 314 ist ein Pufferkondensator 321 vorgeschaltet, der die zum Erregen der Ultraschallsendeeinrichtung 314 notwendige Energie bereitstellt. Zwischen dem Pufferkondensator 321 und dem Netzteil 312 ist eine Strombegrenzungseinrichtung 313 vorhanden.

[0035] Zur erfundungsgemäßen Steuerung der von der Messeinrichtung 300 aufgenommenen Leistung wird über 30 den parallel zur Zweidrahtleitung 101 angeschlossenen A/D-Wandler 316 die Versorgungsspannung, d. h. die an der Zweidrahtleitung 101 anliegende Spannung, gemessen. Der Mikrokontroller 317 stellt über eine Stromregeleinrichtung 322 den Strom in Abhängigkeit von der Versorgungsspannung so ein, dass die aufgenommene Leistung annähernd konstant gehalten oder langsam an den tatsächlichen Leistungsbedarf angepasst wird bzw. der Strom bei sich plötzlich änderndem Leistungsbedarf im wesentlichen konstant bleibt und dann langsam erniedrigt oder erhöht wird, je nach 35 dem, ob ein niedriger oder ein höherer Leistungsbedarf besteht.

[0036] Die Strombegrenzungseinrichtung 313 sorgt beim Puffer- oder Sendekondensator 321 für einen konstanten Laststrom. Die Strombegrenzungseinrichtung 313 ist hier über eine Steuerleitung 2 durch die Stromregeleinrichtung 322 auf einen beliebigen Wert einstellbar, es ist aber auch denkbar, die Strombegrenzungseinrichtung 313 auf einen festen Wert einzustellen, also keiner Regelung zu unterwerfen. Wenn der Sendekondensator 321 aufgeladen wird und die Sendeeinrichtung 314 nicht aktiv ist, geht die aufgenommene Leistung insgesamt zurück. Damit die Stromaufnahme trotzdem annähernd konstant bleibt, kann entweder die eingangsseitige Stromregeleinrichtung 322 den Differenzstrom in Wärme umwandeln oder es kann eine kurze 45 Anregung der Sendeeinrichtung 314 erfolgen, ohne hieraus eine Messung abzuleiten. Dies geschieht dann, wenn der Mikrokontroller 317 erkennt, dass die am Sendekondensator 321 anliegende Sendespannung eine kritische Höhe erreicht 50 hat, ab der die Strombegrenzungseinrichtung 313 den Strom durch den Sendekondensator 321 nicht mehr aufrechterhalten kann. Die dadurch eingeleitete kurze Entladephase reicht aus, um den Sendekondensator 321 anschließend wieder mit einem konstanten Strom aufzuladen. Mit dem A/D-Wandler 316 wird die Versorgungsspannung der Messvorrichtung 300 gemessen. Der Mikrokontroller stellt über die Stromregeleinrichtung 322 den Messvorrichtungsstrom je nach benötigter Leistungsaufnahme und Eingangsspannung ein.

[0037] Die Stromregelung ist in der Fig. 4 detailliert dar-

gestellt. Diese Regelung bekommt den Sollwert vom Prozessor über eine Steuerleitung 1 vorgegeben. Optional kann während der Anlaufphase der Sollwert von einer Referenzdiode abgeleitet werden. Über diesen Sollwert wird die Gesamtstromaufnahme der Messvorrichtung 300 geregelt. Dazu wird über einen Stromföhlerwiderstand R42 der Istwert gefühlt und entsprechend der Abweichung vom Sollwert die Stromquelle eingestellt. Diese dient zur schnellen Ausregelung von Stromschwankungen. Der über die Stromquelle abfließende Strom wird wiederum über einen Widerstand R43 gefühlt und dient als Istwert für die Regelung der Ladestrombegrenzung, die in der Fig. 5 näher dargestellt ist. Diese Regelung hat zwei unterschiedliche Zeitkonstanten. Wenn der Istwert größer ist als der Sollwert wirkt eine relativ große Zeitkonstante und wenn der Istwert kleiner ist als der Sollwert wirkt eine kleinere Zeitkonstante, was bedeutet das die Regelung auf diesen Zustand schneller reagiert.

[0038] Die unterschiedlichen Zeitkonstanten können beispielsweise durch eine Schaltung gemäß Fig. 5 realisiert werden. Eine Erhöhung des Istwertes bewirkt, dass eine Diode D53 sperrt, so dass für die Zeitkonstante der Regelung nur der Widerstand R54 maßgebend ist. Verringert sich der Istwert, wird die Diode D53 leitend. Somit ist die Parallelschaltung der Widerstände R55 und R54 wirksam, was eine kleinere Zeitkonstante und damit eine schnellere Reaktionsgeschwindigkeit der Regelung zur Folge hat.

[0039] In der Fig. 6 ist der zeitliche Verlauf des Verluststromes durch den Querzweig der Stromregelung 322 und der Spannungsverlauf am Pufferkondensator für die Sendespannung dargestellt. Der Verluststrom entspricht dem Gesamtstrom abzüglich dem Sensorstrom. Der Sensorstrom entspricht weitestgehend dem Ladestrom für den Pufferkondensator. Grundlage für die Regelung ist, dass immer ein kleiner Strom durch den Querzweig der Stromregelung fließt. Dieser ist in den Diagrammen mit Sollwert bezeichnet. Wenn der Pufferkondensator aufgeladen ist, bevor ein neuer Sendevorgang gestartet werden kann, geht der Ladestrom zurück und der Strom durch den Querzweig steigt an, siehe Fig. 6.1. In Fig. 6.2 ist der zugehörige Verlauf der Spannung am Pufferkondensator dargestellt. Die Regelung für den Ladestrom sollte durch die Erhöhung des Querstromes, der eine positive Abweichung vom Sollwert darstellt, in Folge der großen Zeitkonstante für diese Art von Abweichung nicht beeinflusst werden. Der Mikrocontroller erkennt, dass Verlustleistung entsteht, und nimmt die Gesamtstromaufnahme durch eine Verkleinerung des Sollwertes für die Stromregeleinrichtung 332 zurück. Als Möglichkeiten zur Erkennung, dass Verlustleistung entsteht, bieten sich in dieser Ausführung zwei Möglichkeiten an. Entweder über den zeitlichen Verlauf der Sendespannung oder über die Häufigkeit mit der die Sendeeinrichtung angeregt wird, ohne daraus eine Messung abzuleiten. Da der Pufferkondensator 321 noch mit dem gleichen Strom geladen wird, verringert sich der Stromverlauf durch den Querzweig im Vergleich zur Fig. 6.1 und fällt unter den Sollwert, siehe Fig. 6.3. Wenn dies der Fall ist, greift nun die Regelung für den Ladestrom ein und reduziert die Höhe des Ladestroms.

[0040] Dadurch wird die Ladetaktzeit für den Kondensator länger und es wird sich der Strom – und Spannungsverlauf wie er in Fig. 6.4 und 6.5 dargestellt ist einstellen. Der Querstrom wird sich immer mehr seinem Sollwert annähern und die Spannung am Sendekondensator wird sich immer mehr dem Verlauf einer Dreiecksspannung nähern. Der optimale Zustand hat sich eingestellt, wenn sich die Strombegrenzungseinrichtung 313 gerade so eingestellt hat, dass zwischen den Messungen keine Verlustleistung erzeugt wird.

[0041] Die elektronische Messeinrichtung gemäß des in Fig. 7 gezeigten Ausführungsbeispiels unterscheidet sich

von der in Fig. 3 gezeigten und vorstehend beschriebenen Variante dadurch, dass die Stromregeleinrichtung 722 keine Steuerleitung zu der Strombegrenzung 713 hat. Diese fehlende Steuerleitung zur Strombegrenzung 713 von der Stromregeleinrichtung 722 wird durch eine Steuerleitung (hier die Steuerleitung 2) vom Mikrocontroller ersetzt. Die Stromregeleinrichtung 722 hat vielmehr eine Messleitung zum A/D Wandler (Messleitung 1). Gemäß der Detaildarstellung nach Fig. 8 bekommt die Stromregeleinrichtung 722 den Sollwert vom Mikrocontroller über eine Steuerleitung (Steuerleitung 1) vorgegeben. Optional kann während der Anlaufphase der Sollwert von einer Referenzdiode abgeleitet werden. Die Stromregeleinrichtung regelt die Stromaufnahme der Messvorrichtung auf diesen vorgegebenen Sollwert aus. Mit dieser Stromregeleinrichtung ist eine Ausregelung schneller Stromschwankungen möglich. Damit die Messvorrichtung ihre Leistungsaufnahme dem tatsächlichen Leistungsbedarf anpassen kann, muss ihre produzierte Verlustleistung ermittelt werden. Die produzierte Verlustleistung wird über den Spannungsabfall an dem Querzweigwiderstand R83 ermittelt. Dieser Spannungsabfall wird mit Hilfe der Messleitung 1 und des A/D Wandlers 716 gemessen. Bei zu hoher Verlustleistung wird der Mikrocontroller 717 den Sollwert für die Stromregeleinrichtung reduzieren, um somit die Gesamtstromaufnahme der Messvorrichtung zurückzunehmen. Der Regelvorgang entspricht dem der vorherstehenden Variante. Nur das die hardwaremäßige Regelung der Strombegrenzung 713 nun vom Mikrocontroller 717 softwaremäßig übernommen wird. Der Sollwert für die Strombegrenzung 713 wird vom Mikrocontroller 717 über die Steuerleitung 2 vorgegeben. Die Strombegrenzung wird mit einem kleinen Sollwert beginnen und nach und nach erhöht werden, bis sich der Idealzustand eingestellt hat, dass zwischen den eigentlichen Messungen keine Verlustleistung erzeugt wird.

[0042] Die elektronische Messeinrichtung 900 gemäß des in Fig. 9 gezeigten Ausführungsbeispiels unterscheidet sich von der in Fig. 5 gezeigten und vorstehend beschriebenen Variante dadurch, dass die Stromregeleinrichtung 922 weder eine Messleitung noch eine Steuerleitung besitzt. Falls der Schaltungsteil hinter der Stromregeleinrichtung 922 zuviel Strom zieht, wird der Strom durch die Stromregeleinrichtung 922 kurzzeitig zurückgenommen, so dass der aufgenommene Strom insgesamt in etwa konstant bleibt.

[0043] Langfristig gesehen wird der Sollwert für die Stromregeleinrichtung 922 über die Rückführung nachgezogen. Im Falle eines Stromanstiegs in den restlichen Schaltungsteilen bedeutet das ein langfristiges Ansteigen des aufgenommenen Stroms. Der Mikrocontroller 917 bestimmt – wie im Ausführungsbeispiel gemäß der Fig. 3 – die Verlustleistung und steuert je nach Bedarf die hier einstellbare Strombegrenzungseinrichtung 413 über die Steuerleitung 430 an. Im übrigen sind die weiteren Bauelemente dieser Messvorrichtung 900 mit den gleichen Bezugszeichen wie die entsprechenden Bauelemente in der Ausführungsform gemäß Fig. 3 gekennzeichnet, allerdings um den Wert 800 erhöht.

[0044] Die Stromregeleinrichtung 922 enthält zwei unterlagerte Regelkreise. Die zweite Regelung (Regelung 2) sorgt dafür, dass der Gesamtstrom wie in den vorherigen Ausführungen konstant bleibt. Damit die Regelung Schwankungen des Nutzstromes richtig ausgleichen kann, muss immer ein gewisser Strom über den Querzweig durch den Widerstand R103 fließen. Die Regelung vergleicht ihren Sollwert mit dem Istwert des Gesamtstroms, den sie über den Spannungsabfall über dem Widerstand R102 ermittelt, und stellt entsprechend der Differenz der Ströme die Stromquelle im Querzweig ein. Den Sollwert für Regelung 2 lie-

fert der Ausgang der Regelung 1. Die Regelung 1 ist dafür zuständig, dass immer ein wenig Strom über den Querzweig fließt. Ihren Sollwert bekommt sie z. B. über eine Referenzdiode (D101) geliefert und vergleicht diesen Wert mit dem Istwert, der z. B. über den Spannungsabfall am Widerstand R103 ermittelt werden kann. Die verschachtelte Regelung sorgt dafür, dass der Gesamtstrom dem Sensorstrom angepasst wird, wobei darauf geachtet wird, dass der Verluststrom im Querzweig minimal gehalten wird.

[0045] Die vorliegende Erfindung ist in ihrer Ausführung nicht beschränkt auf die vorstehend nur vorzugsweise angegebenen Ausführungsbeispiele. Es sind vielmehr auch Abwandlungen hiervon denkbar, die trotz anderer Ausgestaltung in den Schutzbereich der vorliegenden Erfindung eingreifen. Die Erfindung ist insbesondere nicht auf elektronische Messeinrichtungen beschränkt, die im Rahmen eines Ultraschall-Füllstandsmessgeräts eingesetzt werden. Im speziellen Falle eines Füllstandsmessgerätes kann anstelle einer Ultraschall-Sensoreinheit auch eine nach einem anderen geeigneten Messprinzip arbeitende Sensoreinheit – wie beispielsweise eine Radarsensoreinheit, eine Sensoreinheit nach dem Prinzip der geführten Mikrowelle oder dergleichen – verwendet werden. Es ist hier noch anzumerken, dass bei den gezeigten Ausführungsformen die Stromregelung zwischen dem Zweidrahtanschluss und der digitalen Kommunikationseinheit angeordnet ist. Selbstverständlich ist es auch möglich, die Kommunikationseinheit zwischen dem Zweidrahtanschluss und der Stromregelung vorzusehen.

## Patentansprüche

30

1. Elektronische Messvorrichtung zur Erfassung einer Prozessvariablen, die an eine Zweidrahtleitung (101) zur Bereitstellung der Versorgungsenergie und zur digitalen Kommunikation mit einem Prozessleitsystem anschließbar ist, hierfür insbesondere einen Zweidrahtanschluss (101a) aufweist, mit einer Sensoreinrichtung (114, 115, 123, 124; 314, 315, 323, 324) zum Messen der Prozessvariablen, einer Steuerungseinrichtung (117; 317) zur Steuerung von Bauelementen der Sensoreinrichtung, einer Spannungsmesseinrichtung (116; 316) zum Messen der über die Zweidrahtleitung (101) anliegenden Versorgungsspannung, und einer Stromregeleinrichtung (122; 322), mit der der Strom zur Versorgung der Messvorrichtung in Abhängigkeit von der durch die Spannungsmesseinrichtung (116; 316) gemessenen Versorgungsspannung zweckmäßig einstellbar ist.

2. Elektronische Messvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Einrichtung (316, 317, 321) zur Ermittlung einer momentanen Verlustleistung vorhanden ist und die mit dieser Einrichtung (316, 317, 321) und der Stromregeleinrichtung (122; 322) verbundene Steuerungseinrichtung (117–120; 317–320) in Abhängigkeit von der ermittelten Verlustleistung einen veränderbaren Sollwert für die Stromregeleinrichtung (122; 322) vorgibt.

3. Elektronische Messvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Stromregeleinrichtung (122; 322) ein Maximalwert für den aufgenommenen Strom fest vorgebar ist.

4. Elektronische Messvorrichtung zur Erfassung einer Prozessvariablen, die an eine Zweidrahtleitung (101) zur Bereitstellung der Versorgungsenergie und zur digitalen Kommunikation mit einem Prozessleitsystem anschließbar ist, hierfür insbesondere einen Zweidrahtanschluss (101a) aufweist, mit

einer Sensoreinrichtung (914, 915, 923, 924) zum Messen der Prozessvariablen, einer Steuerungseinrichtung (917) zur Steuerung von Bauelementen der Sensoreinrichtung (914, 915, 923, 924), und

einer Stromregeleinrichtung (922), mit der der von der Messvorrichtung über die Zweidrahtleitung (101) gezogene Strom in Abhängigkeit von dem durch die Sensoreinrichtung (914, 915, 923, 924) gezogenen Strom zweckmäßig einstellbar ist.

5. Elektronische Messvorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromregeleinrichtung (922) zwei Regelungen umfasst, eine, die den Gesamtstrom konstant hält, und eine, die dafür sorgt, dass immer ein geringer Strom über einen Querzweig fließt.

6. Elektronische Messvorrichtung nach Anspruch 2 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (316) zur Ermittlung einer momentanen Verlustleistung mit einem Kondensator (321) verbunden ist, um einen zeitlichen Verlauf der Spannung an dem Kondensator (321) und dadurch der Verlustleistung zu messen.

7. Elektronische Messvorrichtung nach Anspruch 2 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zur Ermittlung einer momentanen Verlustleistung einen Mikrokontroller (317), einen mit dem Mikrokontroller (317) verbundenen A/D-Wandler (316) und einen einem Ultraschallsender (314) vorgeschalteten Kondensator (321) zur Speicherung von Energie für die Sensoreinrichtung (114, 115, 123, 124; 314, 315, 323, 324) umfassen.

8. Elektronische Messvorrichtung nach Anspruch 2 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine Einrichtung (317) vorhanden ist, mit der die Häufigkeit ermittelbar ist, mit der die Sensoreinrichtung (114, 115, 123, 124; 314, 315, 323, 324) angeregt wird, ohne eine Messung durchzuführen.

9. Elektronische Messvorrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine mit der Stromregeleinrichtung (322) verbundene Strombegrenzungseinrichtung (313) vorhanden ist.

10. Elektronische Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1–9, dadurch gekennzeichnet, dass eine durch Leistungsbedarfsüberschreitung anfallende Verlustleistung durch kontrollierte Abgabe eines nicht zu einer Messung führenden Impulses durch die Sensoreinrichtung (314, 315, 323, 324) abgeführt wird.

11. Elektronische Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1–3 und 5–9, dadurch gekennzeichnet, dass eine durch Leistungsbedarfsüberschreitung anfallende Verlustleistung in Wärme umgesetzt wird.

12. Elektronische Messvorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine durch Leistungsbedarfsüberschreitung anfallende Verlustleistung über einen Stromföhlerwiderstand innerhalb der Stromregeleinrichtung (122; 322) ermittelt wird.

13. Verfahren zum Betreiben einer elektronischen Messvorrichtung zur Erfassung einer Prozessvariablen, die an eine Zweidrahtleitung (101) zur Bereitstellung der Versorgungsenergie und zur digitalen Kommunikation mit einem Prozessleitsystem anschließbar ist, bei dem in der Messvorrichtung die über die Zweidrahtleitung (101) anliegende Versorgungsspannung gemessen wird und der Strom zur Versorgung der Messvorrichtung (100; 300) in Abhängigkeit von der durch die Spannungsmesseinrichtung (116; 316) gemessenen Versorgungsspannung zeitlich zweckmäßig verändert wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekenn-

zeichnet, dass zur Ermittlung einer momentanen Verlustleistung der Spannungsabfall an einem Widerstand (R23) gemessen wird.

15. Verfahren zum Betreiben einer elektronischen Messvorrichtung zur Erfassung einer Prozessvariablen, die an eine Zweidrahtleitung (101) zur Bereitstellung der Versorgungsenergie und zur digitalen Kommunikation mit einem Prozessleitsystem anschließbar ist, bei dem der von der Messvorrichtung über die Zweidrahtleitung (101) gezogene Gesamtstrom durch eine Stromregeleinrichtung (922) einem von einer Sensorseinrichtung (914, 915, 923, 924) gezogenen Sensorstrom angepasst wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass ein Verluststrom in einem Querzweig minimal gehalten wird.

17. Verfahren nach Anspruch 13 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung einer zweckmäßigen Leistungsaufnahme die momentan in der Messeinrichtung (100; 300) erzeugte Verlustleistung ermittelt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung der momentanen Verlustleistung der zeitliche Verlauf der Spannung an einem einer Sensoreinrichtung (314, 315, 324) zum Messen der Prozessvariablen vorgeschalteten Kondensator (321) gemessen wird.

19. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung der momentanen Verlustleistung die Häufigkeit ermittelt wird, mit der die Sensoreinrichtung (314, 315, 324) angeregt wird, ohne eine Messung durchzuführen.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 13–19, dadurch gekennzeichnet, dass dieses Verfahren in einer Messvorrichtung (100; 300) durchgeführt wird, die eine Sensoreinrichtung (314, 315, 324) umfasst, in der mittels Ultraschallimpulse der Abstand zu der Füllgutoberfläche eines Füllgutes in einem Behälter ermittelt wird.

21. Verfahren nach Anspruch 13–19, dadurch gekennzeichnet, dass dieses Verfahren in einer Messvorrichtung durchgeführt wird, die eine Sensoreinrichtung (114, 115, 116, 123, 124) umfasst, in der mittels Radarimpulsen der Abstand zu der Füllgutoberfläche eines Füllgutes in einem Behälter ermittelt wird.

45

---

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

---

50

55

60

65

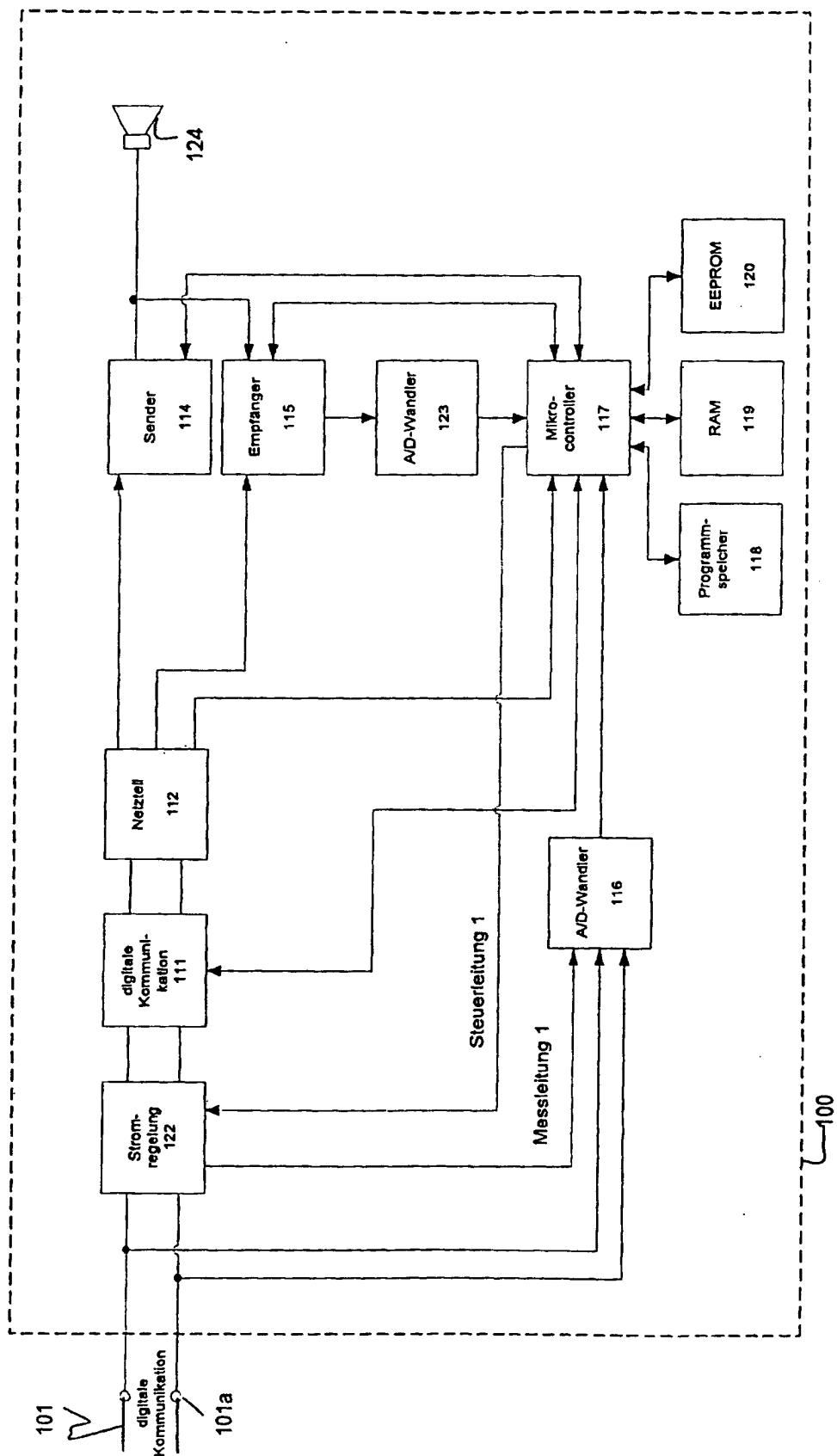


Fig. 1

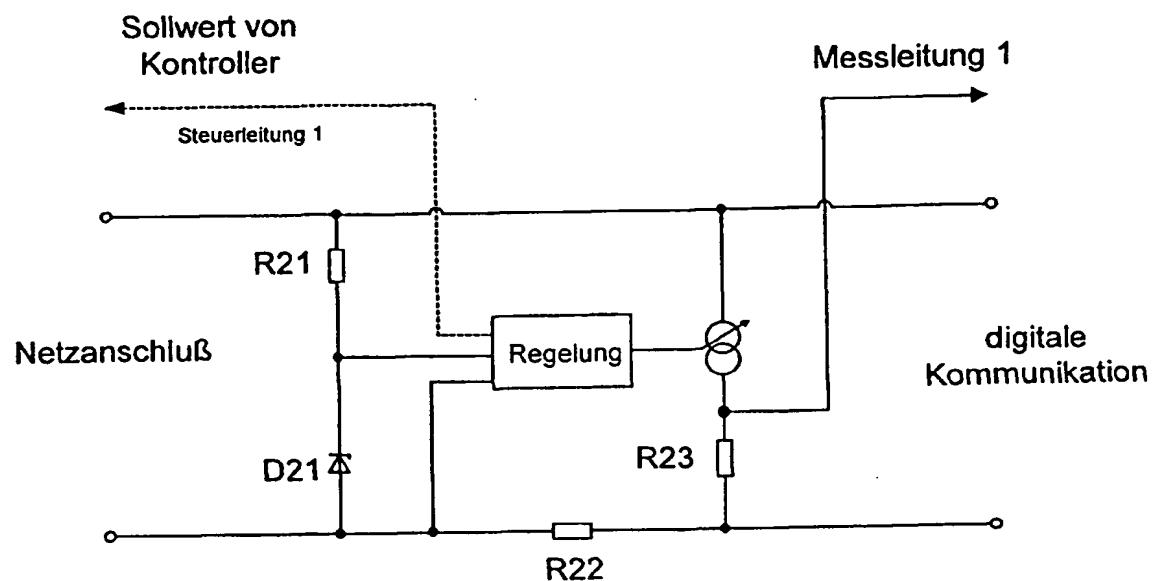


Fig. 2

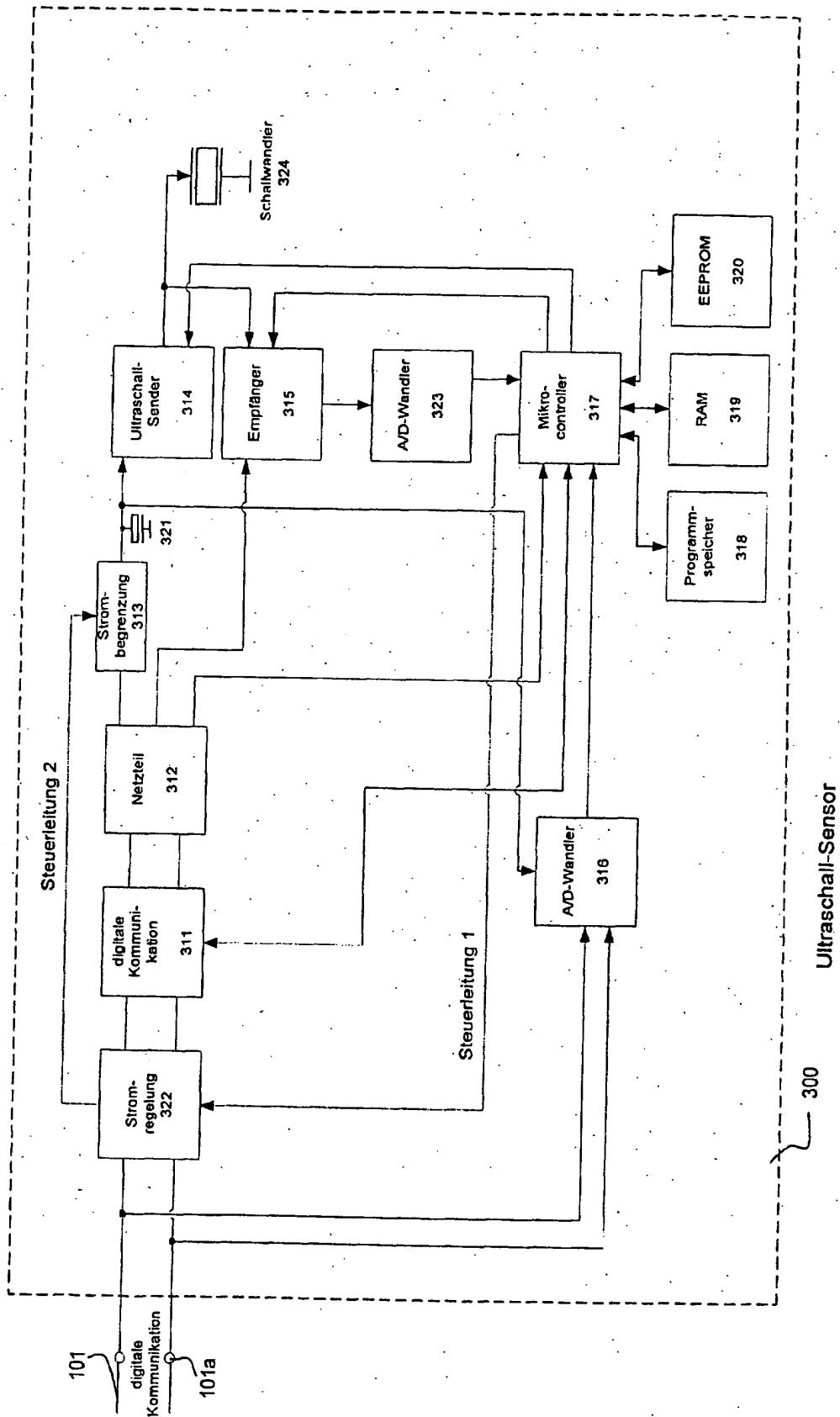


Fig. 3

**BEST AVAILABLE COPY**

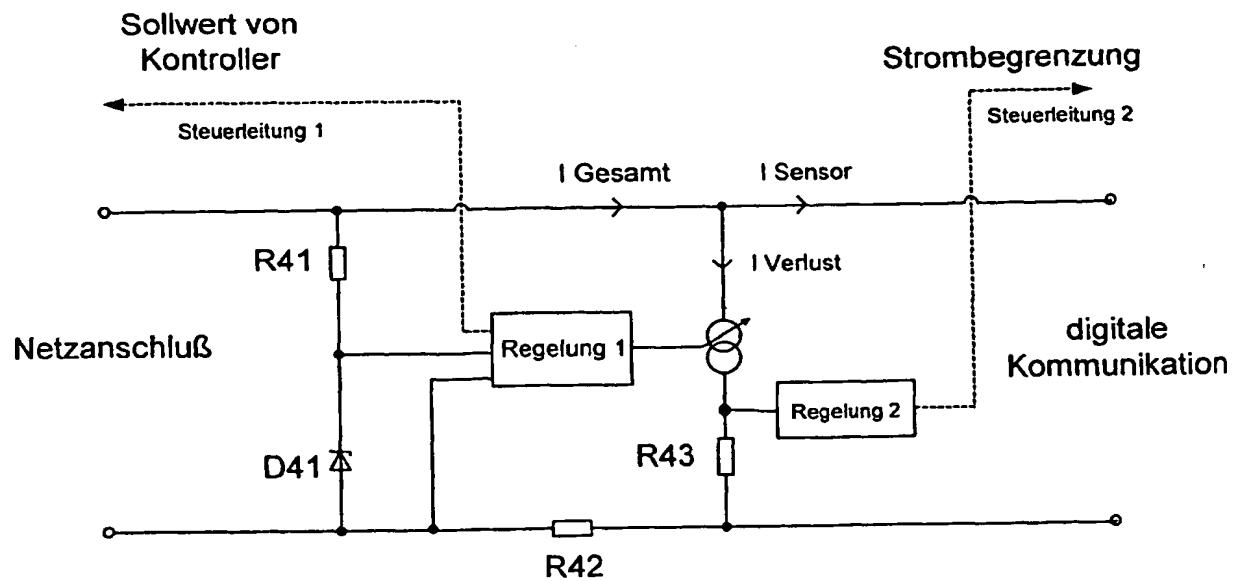


Fig. 4

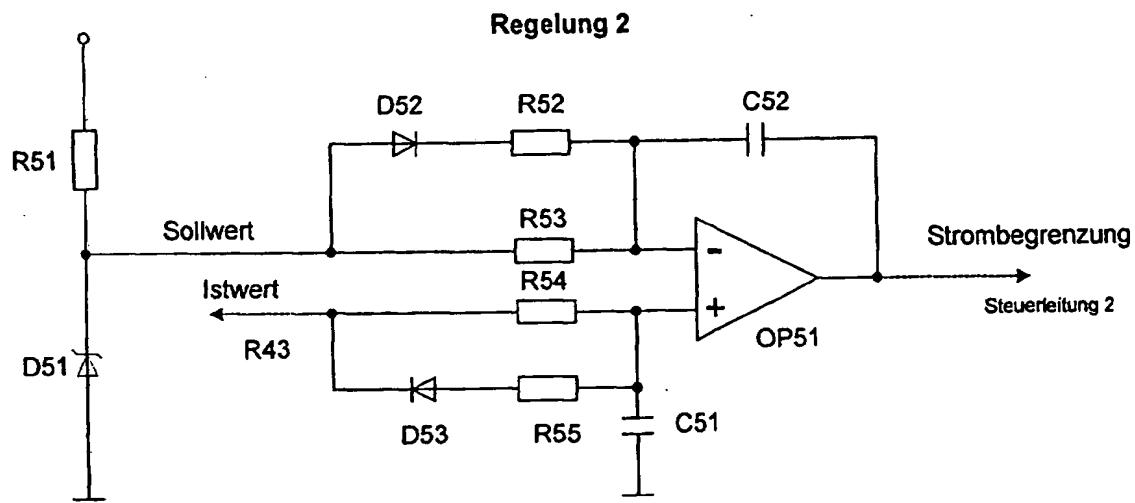
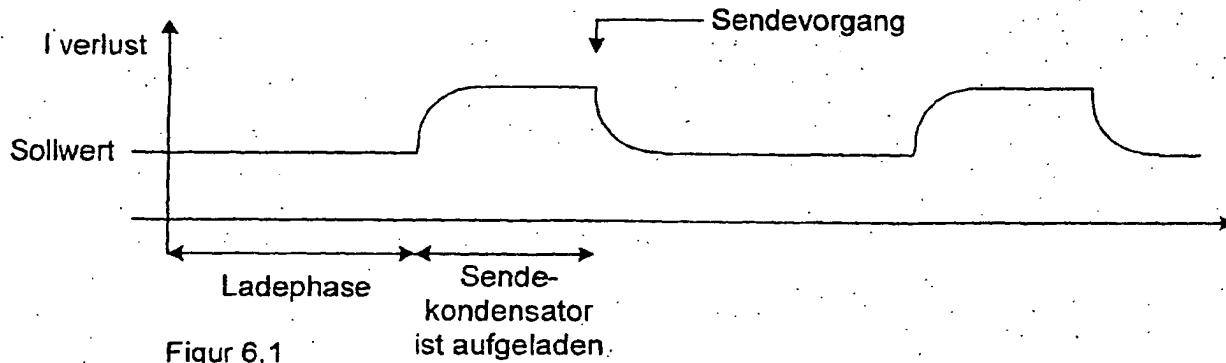
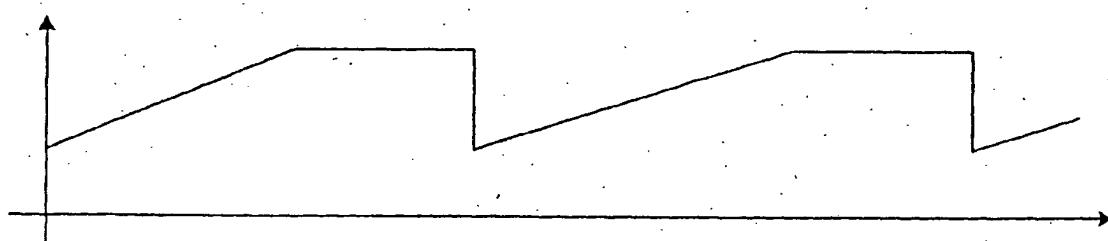


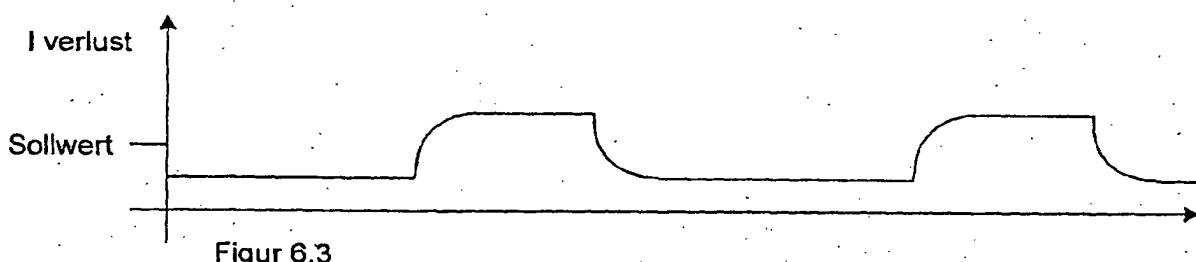
Fig. 5

**Stromverlauf im Querzweig der Stromregeleinheit (Verluststrom)**

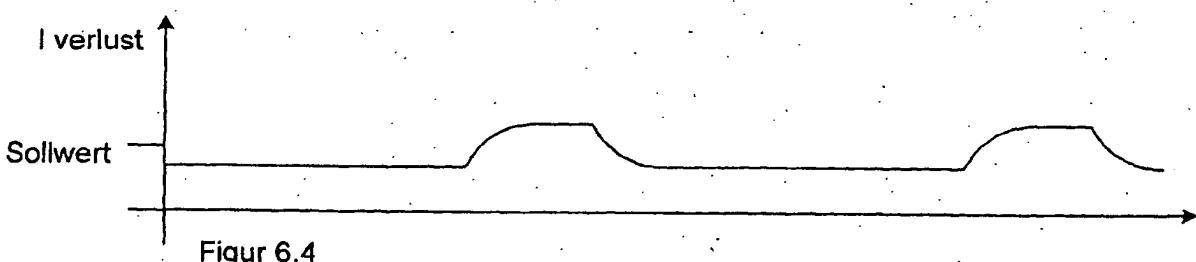
Figur 6.1

**Spannungsverlauf am Sendekondensator**

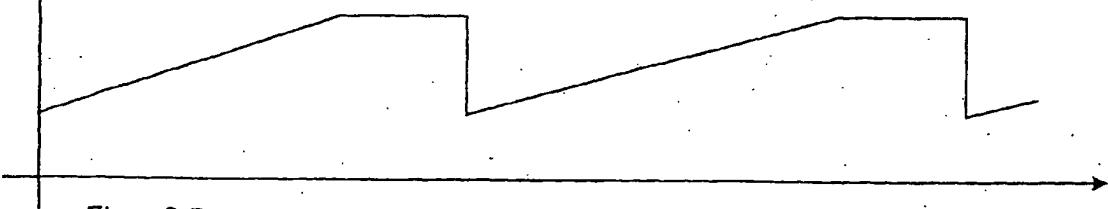
Figur 6.2



Figur 6.3

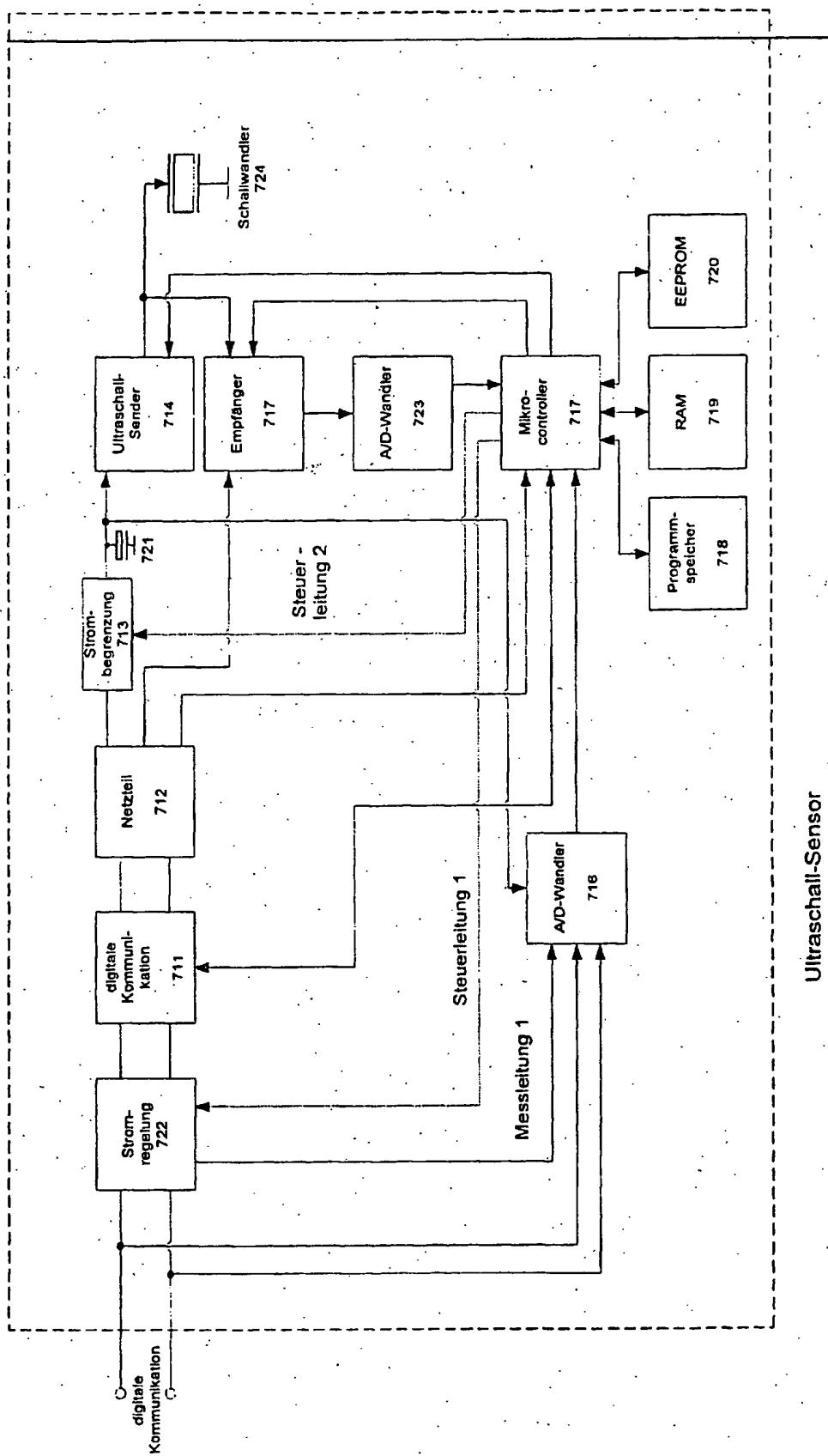


Figur 6.4

**Spannungsverlauf am Sendekondensator**

Figur 6.5

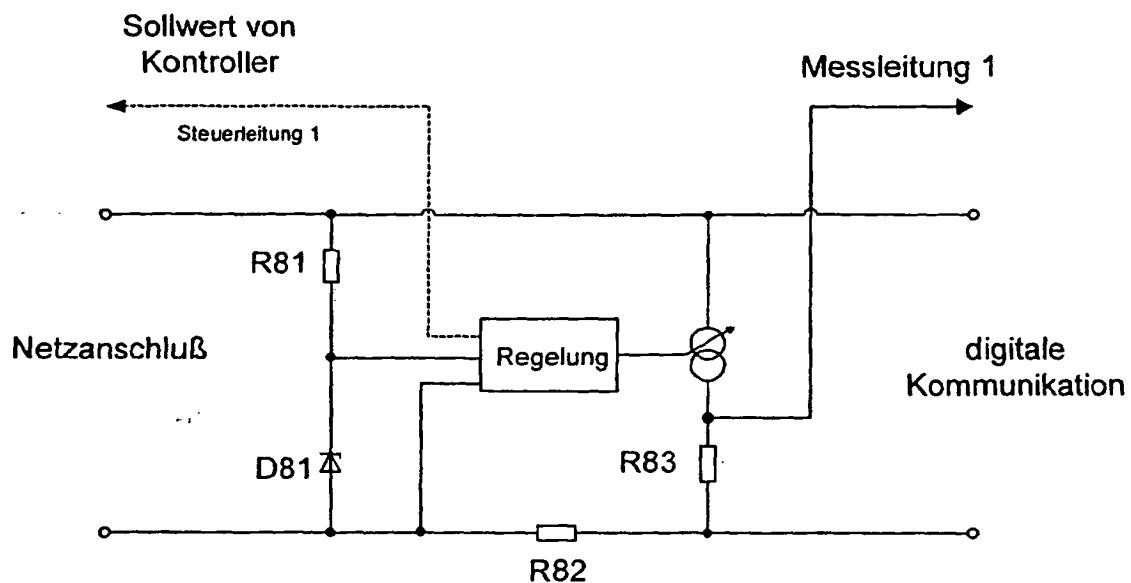
**Fig. 6****BEST AVAILABLE COPY**



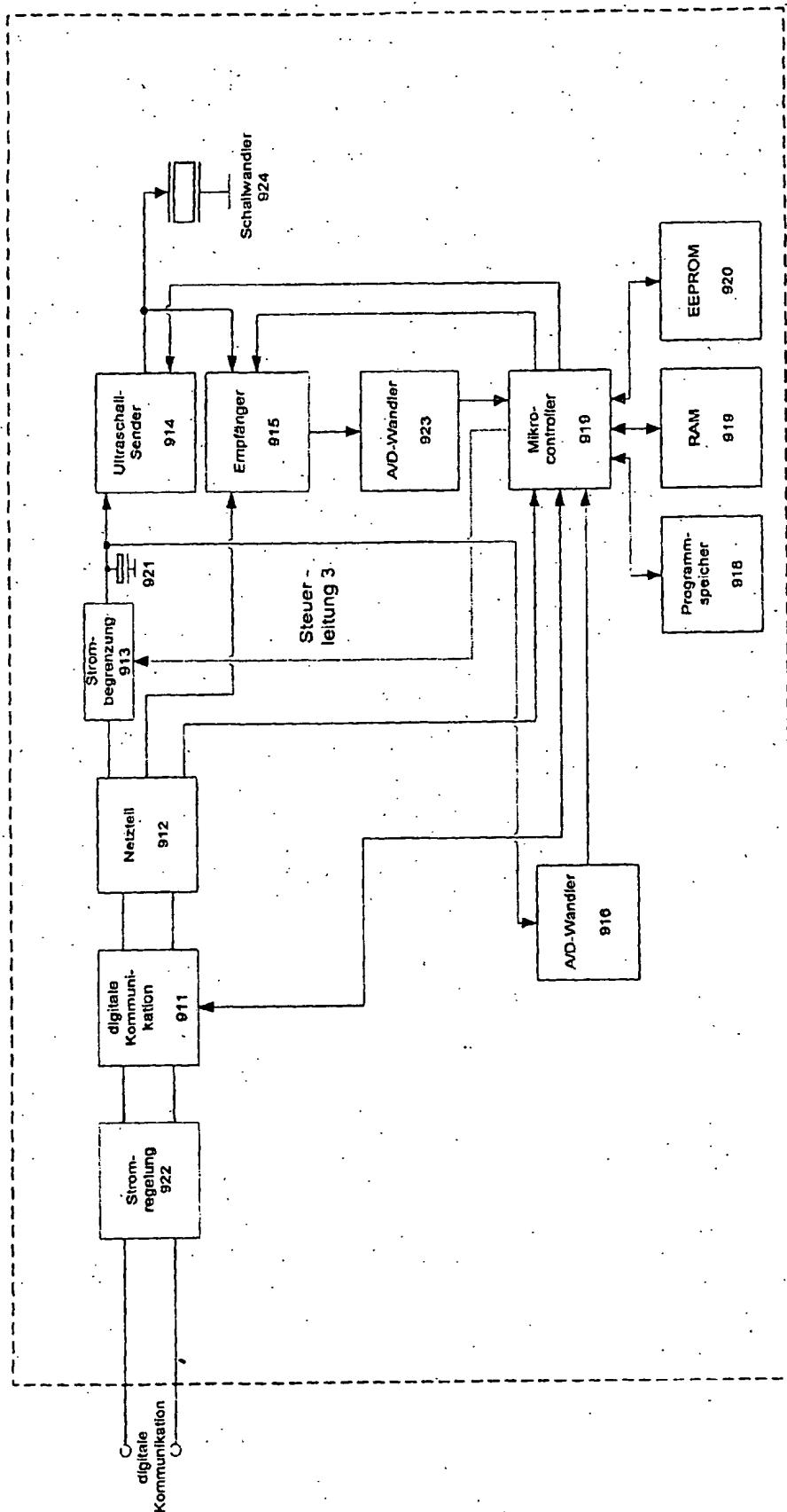
Figur 7

BEST AVAILABLE COPY

102 240/299

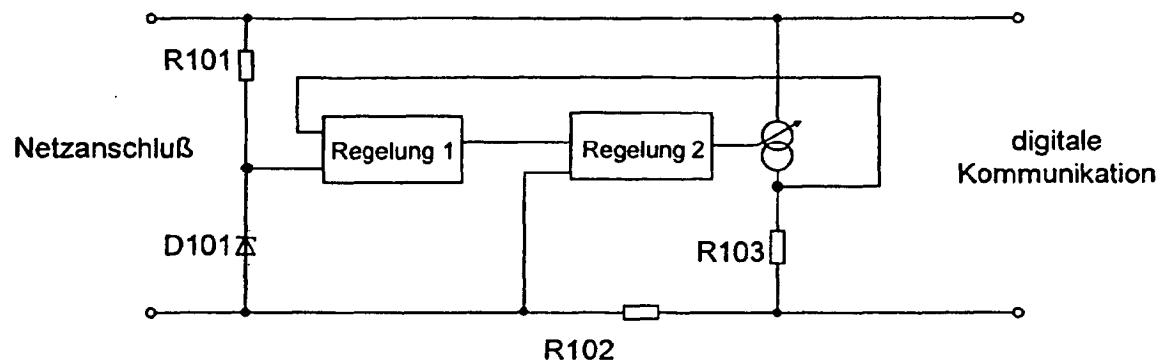


**Figur 8**



Ultrasonic-Sensor

Figur 9

**Figur 10**